

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**INFLUENCIA DEL RALEO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE
LA MADERA EN *Eucalyptus grandis***

por

Guillermo CUETO CARRIÓN

TESIS presentada como
uno de los requisitos para
obtener el título de
Magister en Ciencias
Agrarias opción Ciencias
Vegetales

MONTEVIDEO

URUGUAY

Junio 2012

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Dr. Roberto Scoz, el Msc. Fernando Resquín y el Ing. Agr. Carlos Mantero el 25 de junio del 2012.
Autor: Guillermo Cueto Carrión. Director Dr. Ohta Sadaaki.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ohta Sadakki Director de esta tesis, quien colaboró con su conocimiento, experiencia y comentarios.

A los miembros del tribunal: Dr. Roberto Scoz, Msc. Fernando Resquín e Ing. Agr. Carlos Mantero.

Al INIA, por el apoyo económico. De manera especial a la Ing. Agr. Cecilia Rachid por participar activamente en este trabajo.

Al Per. Agr Hugo O'Neill y a todo el personal vinculado con el Departamento de Proyectos Forestales.

Al Ing. Agr. Luis Salvarrey, por su colaboración en el área de estadística.

A la empresa Urupanel y al Frigorífico Tacuarembó.

A la empresa FMS que apostó a nuestro desarrollo profesional y en especial al Ing. Agr. Alejandro Lyonnet quien creyó en nuestro desarrollo como profesional.

A todos ellos muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 INFLUENCIA DEL RALEO SOBRE LA MADERA.....	6
1.2 MADERA JUVENIL	8
1.3 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA MADERA EN EL ÁRBOL.....	10
1.3.1 <u>Variación de la densidad de la madera en sentido radial</u>	10
1.3.2 <u>Variación de la densidad de la madera en sentido axial</u>	12
1.4 TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS Y DENSIDAD DE LA MADERA	13
1.5 VARIACIÓN DEL MOR Y MOE DE LA MADERA	15
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	19
2.1 VARIABLES EVALUADAS	21
2.2 METODOLOGÍA.....	22
2.2.1. <u>Debobinado de las primeras trozas</u>	28
2.2.2. <u>Propiedades físico – mecánicas</u>	32
2.2.3. <u>Análisis estadísticos</u>	36
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	38
3.1 VARIABLES DASOMÉTRICAS.....	38
3.2 RENDIMIENTO DE LÁMINAS EN FÁBRICA	44
3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA.....	48
4. <u>CONCLUSIONES</u>	52
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	54

RESUMEN

El presente trabajo en *Eucalyptus grandis* se enmarca en un proyecto investigación compartido por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). Su principal objetivo fue evaluar la incidencia de la intensidad del raleo sobre el crecimiento, el rendimiento en madera, (calidad y cantidad de chapas) y las propiedades físicas y mecánicas como densidad básica, módulo de elasticidad (MOE) y módulo de rotura (MOR). El monte seleccionado, se ubica en el departamento de Tacuarembó sobre suelos arenosos. Fue plantado en el año 1989, con semilla proveniente de Bañado de Medina. El diseño experimental del ensayo fue de parcelas al azar, con dos repeticiones, siendo los tratamientos: raleo fuerte con 272 árboles /ha remanentes, raleo medio con 352 árboles/ha remanentes y sin raleo, con 1280 árboles /ha. El raleo fue realizado en el año 1994, y las evaluaciones se efectuaron a la edad de 19 años. De cada tratamiento se seleccionaron los 10 individuos promedios de diámetro a la altura del pecho (DAP) para obtener los productos a ensayar. Entre las variables analizadas se destacan el volumen/ha, DAP, altura, factor de forma, cantidad y calidad de chapas para confección de tableros contrachapados, densidad aparente básica medida en rodajas, el MOE y el MOR de tablas con dimensiones comerciales y probetas libres de defectos y la densidad corriente de tablas y probetas. Del análisis realizado se concluye que con un único raleo, realizado a los 5 años, se logra uniformizar los diámetros, concentrándolos en clases mayores y se mejora la calidad de chapas en los tratamientos raleados. Se observó que con raleo, cerca del 50 % del total de las láminas ingresaron dentro de la clasificación clear y cara, mientras que sin raleo se obtuvo solamente un 16%. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para las densidades analizadas, el factor de forma, el volumen por hectárea, el MOE y MOR de tablas y probetas libres de defecto.

PALABRAS CLAVE: *Eucalyptus grandis*, raleo, debobinado, MOE, MOR.

Thinning influence on quality and productivity in *E. grandis* wood

SUMMARY

This scientific work focused on the species *Eucalyptus grandis* is part of a research project which involves the Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) and the Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). The main objective was to evaluate the impact of the intensity of thinning on wood performance (quality and quantity of sheets) and the basic mechanical properties such as density, modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR). The selected plantation to meet the stated objectives is located in the department of Tacuarembó on sandy soils. It was planted in 1989 with seed from Bañado de Medina (Uruguay). The experimental design was a trial from 12 randomized plots with two replications. Treatments are: A) intense thinning with 272 remaining trees / ha, B) thinning medium with 352 remaining trees / ha and C) un-thinned with 1280 remaining trees / ha. Thinning was conducted in 1994, when the forest was 5 years old and assessments were made at the age of 19. From each treatment there were selected 10 individual trees with average diameter breast height (DBH) to be tested. Some relevant variables studied were volume / ha, DBH, height, form factor, quantity and quality of veneer for making plywood, MOE and MOR of boards with commercial dimensions and defect-free specimens and the current density of the same specimens. This analysis has concluded that a single thinning performed at 5 years has achieved uniform diameters, concentrated in larger classes and improves the quality of sheets in the thinned treatments. With the Thinning it was observed that about 50% of the sheets, entered into the clear classification and face, while without thinning was obtained only by 16%. There were no significant differences between treatments in the wood densities analyzed, shape factor, volume/ ha, MOE and MOR of boards and defect-free specimens.

KEY WORDS: *Eucalyptus grandis*, thinning, veneer, MOE, MOR.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, la superficie forestal del Uruguay se ha incrementado de manera significativa, favorecida por el subsidio implementado por el estado. Como consecuencia de esa expansión existe, en la actualidad, una incipiente industria nacional que utiliza la madera del *Eucalyptus grandis*, como materia prima para producción de madera de calidad (aserraderos, mueblerías, fábrica de tableros contrachapados, etc.).

El *Eucalyptus grandis* ha demostrado ser una especie de rápido crecimiento en nuestro país. En zonas de prioridad forestal se observan incrementos medios anuales de 25 a 30 m³ (Soria, 1979). Los mayores crecimientos en Uruguay se observan en suelos arenosos profundos de la zona norte.

Según datos de la Dirección General Forestal del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), en los departamentos de Tacuarembó y Rivera, hasta el año 2010 (Uruguay XXI, 2011), había una superficie forestada de unas 95.000 hectáreas de la especie *Eucalyptus grandis*, equivalente al 44% del total de la superficie plantada de esta especie en el país, implantada con el propósito de producir madera sólida de calidad.

Esta expansión promovió la instalación de dos fábricas de tableros contrachapados en Tacuarembó de las empresas Weyerhaeuser y Urupanel, con una producción aproximada de 200.000 metros cúbicos de tableros contrachapados y una demanda anual de 400.000 a 450.000 metros cúbicos de madera rolliza, entre ambos emprendimientos (Uruguay XXI 2011).

Según Pou y Guida (2011), “el sector de transformación mecánica de la madera es el segundo en niveles de producción y se encuentra localizado básicamente en la zona norte del país. Sus principales productos son madera aserrada, paneles, contrachapados y MDF y actualmente exportan 100 millones de dólares anuales”; esta cifra corresponde al 8 % del total exportado por el sector.

En base a la información disponible sobre superficie forestada en el norte de Uruguay si se toma un período de explotación promedio de 22 años, a partir del año 2016 la producción podría superar los 8 millones de m³ / año proveniente de turno final, madera de óptima calidad podada y raleada” (Pou y Guida 2011).

Para llegar a obtener madera de calidad para uso industrial los montes plantados se someten a tratamientos silviculturales en base a selección de individuos remanentes por crecimiento, forma de fuste y aspectos sanitarios, entrando en juego las diferentes estrategias empresariales de poda y raleo. A pesar de que esta práctica es conocida en Uruguay, así como en otras partes del mundo, a la fecha existe una superficie importante de *E. grandis* plantada en la década de los noventa que no fue tratada con podas y raleos, lo que conlleva a dificultades para la elaboración de productos de calidad. Actualmente las grandes empresas tienen un plan de manejo basado en podas y raleos para la elaboración de productos de madera sólida, con mayor valor agregado.

Como se mencionó en párrafos anteriores tanto la superficie plantada como el sector industrial en Uruguay se han desarrollado en forma rápida, no así el ámbito de la investigación, donde la evaluación es más lenta. Son escasos los trabajos de investigación conjunta entre proveedores de materia prima e industrias que buscan caracterizar la madera de *E. grandis*, sin

embargo el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) ha realizado en los últimos años, varios ensayos de las propiedades físico – mecánicas para la especie, generado información valiosa para el sector forestal nacional.

En esta coyuntura nacional el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Facultad de Agronomía, y el LATU proponen avanzar en la investigación de la especie *E. grandis*, siguiendo una línea de trabajo para analizar el efecto del raleo sobre la productividad y calidad de madera.

Las hipótesis de este trabajo son:

El raleo en la especie *Eucalyptus grandis* influye positivamente sobre la calidad y cantidad de madera debobinada.

El raleo severo realizado a la especie *Eucalyptus grandis* a los cinco años incide sobre la densidad aparente básica, el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura, cuando estas variables son analizadas en un turno final de 19 años.

El objetivo general de este trabajo científico es evaluar la incidencia de la intensidad del raleo sobre el crecimiento y la calidad de la madera de *E. grandis* evaluado a turno final.

Los objetivos específicos son:

- 1) Evaluar el efecto del raleo sobre el porcentaje de corteza, factor de forma, conicidad de la primera troza, DAP (diámetro a la altura del pecho), altura total, volumen individual, volumen por hectárea y sobrevivencia post raleo.

- 2) Analizar el efecto del raleo sobre el rendimiento de madera (calidad y cantidad de chapas obtenidas de la primera troza por debobinado).
- 3) Estudiar el efecto del raleo sobre algunas propiedades físico mecánicas, como módulo de elasticidad (MOE), el módulo de ruptura (MOR) y las densidades (densidad básica aparente y corriente), en tablas de tamaño comercial y probetas libres de defectos.

Los diferentes tratamientos silviculturales inciden en la calidad de la madera y por lo tanto en el producto final y su valor comercial. En la búsqueda de maderas de calidad superior que respondan a las exigencias del mercado, que crece anualmente, se manejan las plantaciones comerciales con diferentes intensidades de poda y raleo, que varían según la región y la especie.

Según Lima *et al.* (2010), en latifoliadas en general se pueden modificar, controlar o minimizar los factores que afectan la cantidad y calidad de la madera, por medio de los tratamientos silviculturales. Entre los tratamientos silviculturales que inciden sobre las tasas de crecimiento de los árboles se destacan la aplicación de fertilizantes y el raleo.

De acuerdo con López (2005), la velocidad de crecimiento, la calidad del fuste y de los rollizos no debería ser tratada de manera independiente a la calidad de la madera, ya que se encuentran estrechamente ligados. En este trabajo se relaciona la velocidad de crecimiento con diferentes variables.

A modo descriptivo, se realizó un esquema de las variables que afectan la calidad de la madera, subrayándose las que se tomarán en cuenta en este trabajo. En la figura 1 se detalla cada variable.

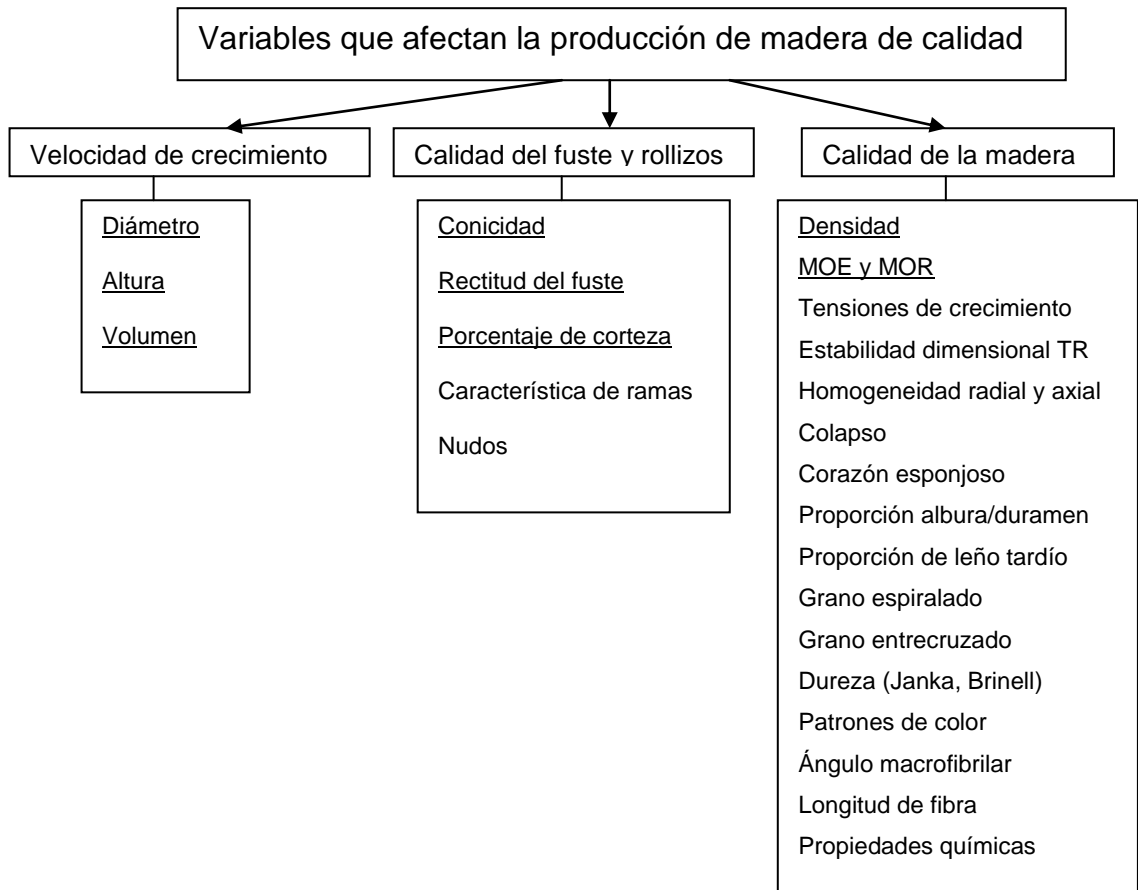


Figura 1. Variables que influyen en la madera de calidad.

Las variables mencionadas son diferentes entre especies y genotipos dentro de la misma. Por esa razón es primordial estudiar las características de la especie plantada, tasas de crecimiento en diferentes sitios y condiciones. También es importante analizar cómo afectan los tratamientos silvícolas, tales como: densidad inicial de plantación, podas y raleos, sobre las propiedades físicas y mecánicas del *Eucalyptus grandis*, buscando de esa forma mejorar el valor de esas propiedades para usos industriales futuros.

1.1 INFLUENCIA DEL RALEO SOBRE LA MADERA

Se entiende que el raleo aumenta el volumen de madera de los árboles remanentes y además influye favorablemente sobre la calidad de los productos finales que se extraen de los árboles remanentes.

El raleo es una intervención silvícola o corta intermedia en la que se reduce el número de árboles por hectárea. Esta corta tiene como objetivo liberar de competencia a los árboles remanentes, obtener un producto de mayor diámetro medio, lograr un retorno anticipado del capital (por medio de la comercialización de los productos obtenidos en cada intervención), aprovechar el material, que de no ralearse quedaría seco o dominado, uniformizar el tamaño y forma de la plantación, eliminando así individuos indeseables por forma, tamaño, inserción de ramas y sanidad, concentrando la capacidad de producción del sitio en los árboles seleccionados

Según Smith *et al.* (1997), la cantidad de espacio de crecimiento disponible para un árbol, afecta el tamaño, la forma y la estructura del tronco.

El control del espaciamiento entre árboles es el principal método silvicultural que influye en la calidad de los rodales. La densidad de árboles por hectárea influye en el tamaño de los nudos, en la proporción de madera juvenil y en la densidad de la madera Macdonald y Hubert (2002).

Según Muñoz *et al.* (2008), el raleo realizado al sexto año afectó positivamente las variables de crecimiento como DAP, altura y volumen individual en *E. nitens* analizado a los 14 años. El DAP promedio del

tratamiento con 400 árboles por hectárea fue significativamente mayor que los demás tratamientos con densidades de 1100 y 800.

Según García *et al.* (2005), dependiendo de la intensidad del raleo, se obtiene un mayor crecimiento de las plantas remanentes. Luego de un raleo, las plantas remanentes presentan un aumento en la tasa de crecimiento debido a la reducción de competencia y al incremento de la disponibilidad de luz, agua y nutrientes por el nuevo espaciamiento entre plantas.

Chaves (2007), observó un aumento del 47,38% en la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa inmediatamente después del raleo, lo que indica que hubo mayor entrada de luz, favoreciendo así la recomposición de la copa luego de seis meses del raleo.

Varios autores coinciden con que el raleo mejora el volumen de los árboles remanentes y que los incrementos volumétricos están influenciados por el genotipo. Es muy importante conocer la variabilidad entre los materiales genéticos disponibles y las relaciones entre las características tecnológicas y dendrométricas considerando los tratamientos forestales realizados. En este trabajo de maestría se debe considerar que existe una importante fuente de variación genética entre árboles, debido a que el material evaluado proviene de semilla.

1.2 MADERA JUVENIL

Principalmente en sus primeros años de crecimiento, tanto las latifoliadas como las coníferas, presentan una madera del tipo juvenil que tiene características diferentes a la madera adulta, afectando de esta forma la calidad de la madera y su transformación a nivel industrial. Por este motivo es importante conocer su influencia sobre la “calidad” y además su cantidad relativa y posición en todo el fuste.

Al momento de comparar maderas es muy importante considerar la zona con madera adulta y madera juvenil, teniendo claro cuál es la zona de transición para cada especie y sitio.

Se ha encontrado para diferentes especies una variación importante en el largo de fibra, densidad y ángulo microfibrilar entre la madera adulta y juvenil, lo que afecta directamente la resistencia y rigidez de la madera.

Existe una gran diferencia en las características de la madera juvenil y la variación de la misma si se compara latifoliadas con coníferas. En el caso de la madera de conífera la incidencia en las características de la madera juvenil es más marcada, por ejemplo el largo de fibra para *Pinus taeda* entre madera juvenil y adulta puede multiplicarse por cinco (largo de 1 mm madera juvenil y 5 mm madera adulta), sin embargo en el caso del *E. grandis* el largo puede llegar al doble Dr. Sadaaki Ohta (comunicación personal, 21 de marzo de 2012).

Doldán (2003), encontró diferencias en el largo de fibra de la madera juvenil y adulta de *E. grandis* con 18 años de edad, considerando que la zona de transición para esa especie se localiza entre el 40 y el 60% de la distancia a la médula. El promedio del largo de fibra para madera juvenil fue

de 0,78 mm, mientras que para madera adulta fue de 1,05 mm. También encontró que la madera adulta tiene un desvío menor, lo que permite decir que es más homogénea y seguramente presente una mejor calidad en referencia a sus propiedades, tanto físicas como mecánicas.

El mismo investigador menciona en su trabajo, que a mayor velocidad de crecimiento (mayor diámetro), será mayor el volumen de madera adulta obtenida.

De acuerdo con Zobel y Talbert (1988) la presencia de madera juvenil es la principal causa de la variación en las propiedades de la madera. En las latifoliadas, como los eucaliptos, la madera juvenil causa problemas en la estabilidad de la madera.

En *E. grandis* la densidad aumenta rápidamente desde la médula a la corteza, especialmente en la zona de madera juvenil Bhat *et al.* (1990). En áreas de rápido crecimiento en Sudáfrica la madera juvenil es considerada como una de las principales fuentes de variación sobre la densidad y propiedades de la madera. La variación de densidad a través del radio es más pronunciada que la que se observa en relación a la altura, citado por Malan (1988).

Entre las diferentes especies de eucaliptos, existe una gran variación dentro y entre árboles en la región de madera juvenil. Por esa razón se cree que a través del mejoramiento genético y de los programas silviculturales es posible manipular el crecimiento reduciendo la variación radial de las propiedades de la madera que influyen sobre la madera juvenil y de esa forma reducir la proporción de madera juvenil dentro del árbol (Malan, 1991).

Unos de los grandes desafíos de la silvicultura es minimizar la formación de madera juvenil en árboles jóvenes y de crecimiento rápido. A

nivel nacional considerando que la mayor parte de plantaciones de *E. grandis* para producir madera de calidad provienen de semilla y no de clones, la mejora en la calidad de la madera y proporción de madera juvenil debe estar enfocada sobre los tratamientos silviculturales y mejoras en la velocidad de crecimiento de los montes ya implantados.

1.3 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA MADERA EN EL ÁRBOL

La densidad de la madera ha sido una de las propiedades más estudiadas ya que está correlacionada con la producción de pulpa y con el uso final que se le puede dar a la madera aserrada.

Varios autores han encontrado una correlación positiva entre la densidad de la madera y algunas propiedades mecánicas. Sin embargo según Centurión y Llano (1995), la relación que guarda la tasa de crecimiento con el peso específico de la madera es muy importante, pero confusa, evidenciada por los diversos resultados contradictorios encontrados en la bibliografía, lo que puede indicar la falta de correlación entre ambas variables.

La densidad de la madera para la especie *E. grandis* y otras especies de eucaliptos, aumenta desde la médula a la corteza y además disminuye desde la base al ápice, según los autores que se detallan a continuación.

1.3.1 Variación de la densidad de la madera en sentido radial

La existencia de menores densidades de la madera próximas a la médula, según Latorraca y Albuquerque (2000), se debe al hecho de la presencia de madera juvenil que se forma al inicio de la etapa de crecimiento

de los árboles. Para obtener madera con mayor densidad se deberá buscar árboles de mayor edad y diámetros.

Wilkins (1991), afirma que en el género *Eucalyptus* la densidad puede variar con la edad, con el vigor de la especie, con el clima del sitio, con el tipo de manejo silvicultural, con la tasa de crecimiento. Además varía dentro del árbol en el sentido de la médula a la corteza y de la base al ápice.

De acuerdo con el trabajo de Doldán (2003), la densidad básica, uno de los indicadores más importantes de la madera presenta una gran variación entre árboles y dentro de cada uno de ellos (sentido radial). El rango varía aproximadamente desde 0,34 a 0,56 g/cm³, con un promedio de 0,41 g/cm³ para madera juvenil y 0,45 g/cm³ para madera adulta.

Según O'Neill *et al.* (2004), luego de analizar 215 muestras obtenidas de la zona cercana a la médula (71), de la zona intermedia (72) y de la zona cercana a la corteza (73) provenientes de 30 árboles de la especie *E. grandis* de 12 años de edad muestreados en el norte de Uruguay, se comprobó que existe un aumento en la densidad aparente básica desde la médula a la corteza, con valores medios por ubicación de 0,417, 0,423 y 0,442 g/cm³ respectivamente.

Los mismos autores en el 2005 cuando estudiaron 225 muestras obtenidas en las mismas condiciones del anterior trabajo pero de 25 árboles de 18 años de edad de *E. grandis* del norte del Uruguay, comprobaron que existe un aumento en la densidad aparente básica desde la médula a la corteza, disminuyendo en la zona intermedia, con valores medios por ubicación de 0,399, 0,384, 0,424 g/cm³ respectivamente.

De acuerdo con O'Neill y Tarigo (2006) sobre 225 muestras obtenidas en las mismas condiciones del anterior pero de 30 árboles de 36

años de edad de *E. grandis* del centro del Uruguay, se comprobó que existe un aumento en la densidad aparente básica (DBA) desde la médula a la corteza, con valores medios por ubicación de 0,414, 0,434, 0,505 g/cm³ respectivamente.

Según Arango y Tamayo (2008), se pueden encontrar 3 modelos de variación radial de la densidad y la formación de 3 tipos de madera (juvenil, de transición y adulta); el valor medio de la densidad fue de 0,46 g/cm³ y 0,55 g/cm³ para los clones de *E. grandis* y *E. grandis x urophylla*, respectivamente.

Al igual que los autores mencionados, Lima *et al.* (2010), encontraron que la densidad aparente y la resistencia a la compresión aumentan significativamente de la médula a la corteza.

1.3.2 Variación de la densidad de la madera en sentido axial

Finochietti (2005), encontró para la especie *E. grandis* en montes de 4 y 8 años, que la variación axial de la densidad es mayor en la base del árbol, que decrece entre los 4 a 6 metros, para luego aumentar lentamente, logrando valores similares a los de la base, en la zona de la copa. González y Lago (2008) encontraron para la misma especie a los 10 y 12 años de edad, la misma tendencia.

La variación de la densidad a lo largo del tronco es menos consistente que la variación a nivel del radio. En *E. grandis* la densidad disminuye con la altura sobre el suelo y luego comienza a decrecer (Stoehr y Mackay 1983, Bhat *et al.* 1990).

1.4 TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS Y DENSIDAD DE LA MADERA

Muchos estudios en *E. grandis* y *E. saligna*, especies estrechamente relacionadas, indican que la densidad de la madera generalmente se incrementa o no es afectada por prácticas silviculturales DeBell *et al.* (2001).

Ferreira *et al.* (1979), no encontraron correlación entre el incremento en volumen de madera y la densidad básica, en plantaciones comerciales de eucaliptos. Wilkins (1990), sin embargo, observó en la especie *E. grandis* plantada en Sudáfrica, que los tratamientos con altas tasas de crecimiento proporcionaban mayor densidad de la madera.

DeBell *et al.* (2001), en un estudio en Hawai sobre *E. saligna* en cambio encontraron que el crecimiento rápido en diámetro podía incrementarse sustancialmente luego del agregado de nitrógeno sin disminución de la densidad de la madera. Ellos concluyeron que el agregado de nitrógeno en esas condiciones mejoró la nutrición y aumentó los diámetros y la uniformidad de la densidad desde la médula hasta la corteza.

Stoehr y Mackay (1983), compararon árboles de 14 años con iguales situaciones de manejo y en un mismo sitio y observaron que árboles de menor crecimiento muestran una clara tendencia a exhibir menor densidad básica. Destacan que los árboles de crecimiento rápido muestran mayores valores de densidad en todas las alturas muestreadas. De la misma forma, Ferreira *et al.* (1979), constataron que los árboles más vigorosos presentaban mayor densidad.

Malan (2005), señala que encontró una relación inversa entre la densidad de plantas y la densidad de la madera, cuando se compararon densidades de plantación iniciales. Los tratamientos planteados variaban desde 94 hasta 2976 árboles. Cuando se comparó la madera formada

durante un mismo período de crecimiento, en diferentes densidades, se evidenció que existe una tendencia a que el rápido crecimiento de los árboles produce madera de mayor densidad en las zonas externas.

En el mismo trabajo Malan considera que el impacto de la densidad de plantación en la densidad de la madera puede apreciarse en los cambios de densidad en el radio, en términos de la distancia a la médula. Esta densidad influye en la densidad total y en las características del producto final.

Existe una tendencia al aumento de la densidad básica de la madera cuando se realiza un raleo temprano. Según Arango y Tamayo (2008) un raleo temprano para *E. grandis* realizado en forma sistemática, proporciona un ritmo relativamente rápido de crecimiento y más constante, permitiendo así la formación de madera más uniforme.

Los antecedentes encontrados indican que, para la especie *E. grandis* el rápido crecimiento, no tiene un efecto negativo en la calidad y características de la formación de madera. El rápido crecimiento no solamente es benéfico para la producción de volumen, sino también en la producción de una madera más homogénea en términos de densidad y diámetros.

1.5 VARIACIÓN DEL MOR Y MOE DE LA MADERA

Las propiedades mecánicas de la madera son influenciadas por diversos factores, entre los que se encuentran: la posición en el árbol, la humedad, el tiempo de duración de la carga y la estructura de la madera. Evans *et al.* (2000) mencionan que las propiedades mecánicas de la madera dependen principalmente de la densidad básica, del porcentaje de madera juvenil, de la intensidad de ataque de insectos y de la presencia de nudos.

El MOE y el MOR son dos parámetros normalmente evaluados en los ensayos de flexión estática, siendo el módulo de elasticidad de mayor importancia para la caracterización tecnológica de la madera, pues representa la resistencia del material sometido a una fuerza aplicada perpendicularmente al eje longitudinal de la madera Lima y García (2005).

Según Aicher y Klöck (2000), el MOE indica alta resistencia y baja capacidad de deformación, permitiendo calificar de esta forma la madera para fines estructurales.

Berger (2000), estudiando el efecto de la densidad de plantación y la fertilización en las propiedades de flexión estática de la madera verde y seca de *E. saligna* de 10 años de edad, encontraron efectos significativos sobre el MOE y el MOR. Concluyeron que a mayor dosis de fertilizante y espaciamientos mayores entre plantas, mayores serían los valores absolutos de las propiedades.

Las propiedades de la madera de eucalipto, de acuerdo con Cruz *et al.* (2003), presentan variaciones en el sentido radial y longitudinal de crecimiento. En su trabajo encontraron que la variación de las propiedades físicas y mecánicas de híbridos de *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus camaldulensis* con edades de 5,5 a 10,5 años, eran mayores las variaciones

en la dirección de la médula a la corteza, y no existieron grandes variaciones desde la base al ápice del árbol. Esto es coincidente con la variación de la densidad en sentido radial. Además, los mismos autores cuando estudiaron la flexión estática y la compresión paralela al grano en trozas de 10 clones de híbridos de eucalipto, verificaron que existen diferencias estadísticas entre ellos, obteniendo de modo general, valores mayores en las trozas superiores.

Silva (2003), verificaron para las maderas de edad 14, 20 y 25, una diferencia estadística entre ellas. A pesar de esto los valores del MOR fueron muy próximos en el sentido de la médula a la corteza. Los datos obtenidos reflejan que existe mayor variación en el MOR en relación radial que en relación a la edad. En el mismo trabajo concluyeron que el MOE y el MOR fueron influenciados por la edad del árbol y la posición con respecto al radio.

De acuerdo con el mismo investigador en el 2005, trabajando con un clon *E. urophylla* x *E. grandis*, el MOE y el MOR presentan la misma tendencia a incrementarse con la edad y con la distancia a la médula.

El módulo de rotura y el módulo de elasticidad son dos parámetros normalmente determinados en ensayos de flexión estática y son de gran importancia para la caracterización tecnológica de la madera, ya que ambos dan una buena aproximación de la resistencia de la madera, lo que los hace muy aplicables para la clasificación de los materiales, Silva (2003). Las maderas con características de mayor homogeneidad de la densidad en el sentido radial, según este autor, deben presentar mejores propiedades tecnológicas y mayor aprovechamiento en el desdoble.

El estudio de las propiedades fundamentales de la madera es de suma importancia, tanto para asegurar un adecuado uso final, como para generar una base de datos útiles para la comercialización de la misma. En

este sentido es imprescindible la continuidad de los trabajos de investigación en un mayor número de sitios a través del territorio nacional Doldán (2003).

El efecto de la densidad de la madera en los productos de aserrado se debe al hecho de que existe una alta correlación entre la densidad y la resistencia máxima a diferentes esfuerzos. La mayor densidad significa que hay más peso en un mismo volumen, por lo tanto, hay mayor cantidad de producto y por lo tanto las propiedades mecánicas incrementan su valor. Las propiedades mecánicas como el MOE, el MOR y la compresión paralela y perpendicular al grano, se incrementan al aumentar la densidad de la madera Bowyer *et al.* (2003).

Pérez del Castillo (2001) en un estudio con probetas libres de defectos en *Eucalyptus grandis*, encontró una correlación entre el módulo elástico y la densidad de 0,624. En el mismo trabajo la correlación entre módulo de rotura y la densidad fue de 0,825.

O'Neill y Tarigo (2006) sobre 259 probetas libres de defectos provenientes de treinta árboles y de tres trozas de cuatro metros de longitud y hasta doce metros de altura, de *Eucalyptus grandis*, de 36 años del centro del Uruguay encontraron una correlación entre el módulo elástico y la densidad de 0,599. Entre el módulo de rotura y la densidad fue de 0.806, lo que indica que sabiendo la densidad podemos tener una buena aproximación de cómo se comportará el MOE y el MOR de esa madera.

Gonçalves *et al.* (2010) encontraron una tendencia de aumento de las propiedades mecánicas en la dirección de la médula a la corteza, con mejores correlaciones en la primera troza. Esto está vinculado a la relación entre la densidad de la madera y el MOE.

O'Neill y Tarigo. (2006) analizaron 260 vigas de tamaño estructural provenientes de treinta árboles y de tres trozas de cuatro metros de longitud y hasta doce metros de altura, de *Eucalyptus grandis*, de 36 años del centro del Uruguay. Observaron que el MOE aumenta de la médula a la corteza (determinado en tres posiciones de la médula, intermedia y cercana a la corteza) valores medios: 10354, 11443 y 12564 MPa. También se observó variación del MOE en sentido axial cuando se midieron a tres alturas diferentes (0-4, 4-8, 8-12 m), valores medios 10862, 11588, 11911 MPa respectivamente. En cuanto al MOR se observó un aumento importante en sentido radial; 36,8, 44,1, 56,5 MPa y en el sentido axial del fuste, disminuyó a media altura y con tendencia a aumentar en la altura, valores medios: 45,9, 42,7, 48,8 MPa, respectivamente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El monte seleccionado para este estudio es propiedad del Frigorífico Tacuarembó y está ubicado a 10 kilómetros de la intersección de las rutas 5 y 26 en la zona noreste de la ciudad de Tacuarembó, en las coordenadas 31° 44'7.74" S 55° 49'0.95" O.

La plantación se realizó sobre suelo arenoso (CONEAT 7.32), en octubre de 1989, con la especie *Eucalyptus grandis*, con plantines provenientes de semilla del huerto semillero de la estación experimental de Bañado de Medina de Facultad de Agronomía.

Para la preparación de suelo, se realizó una pasada de excéntrica, carpidor y cincel. Al momento de la plantación se agregaron 75g de fertilizante 20 – 40 – 00, por planta.

En el cuadro 1 se presentan los datos de clima para la región donde está instalado el ensayo.

Características	Valores
Precipitación anual	1426,6 mm
Temperatura máxima media	23,5 °C
Temperatura mínima media	13,1 °C
Temperatura media	18,3 °C
Humedad relativa ambiente media	72%
Días con heladas agrometeorológicas	42 días
Heliofanía media real	6,9 hrs /día

Cuadro 1. Caracterización agroclimática de Tacuarembó. Caracterización agroclimática del INIA. Serie histórica, período 1980 – 2009.

La superficie ocupada por el ensayo es de 0,96 ha y la distancia de plantación de 3 x 2,5 m, llegando a una densidad de 1333 plantas / hectárea.

El ensayo tiene un diseño experimental completo al azar y está compuesto por tres tratamientos, con dos repeticiones, siendo estos tratamientos: raleo fuerte, raleo medio y sin raleo o testigo.

Las características de las parcelas se describen en el cuadro 2.

Tratamientos	Parcela	Nº de Árboles	Parcela interna	Nº de árboles a muestrear	Densidad Árboles/ha
Raleo fuerte	40 x 40 m	40	25 x 25 m	17	272
Raleo medio	40 x 40 m	60	25 x 25 m	22	352
Testigo (sin raleo)	40 x 40 m	210	25 x 25 m	80	1280

Cuadro 2. Principales características de las parcelas.

El ensayo fue diseñado originalmente con el objetivo de evaluar diferentes formas de manejo que promovieran la transformación de un bosque comercial en un área de colecta de semilla. Por esa razón se realizó un único raleo de árboles a los 5 años de edad del monte. Luego de alcanzado el objetivo primario se continuó la medición de crecimiento del monte para conocer su evolución hasta el turno cosecha. No se realizó poda en ninguno de los tratamientos.

En octubre de 2008 se midió el DAP y la altura de todos los individuos, para calcular las variables dasométricas de cada uno de los tratamientos. Con esos datos se seleccionaron 10 individuos de la clase diamétrica más frecuente para el cálculo del factor de forma, del porcentaje

de corteza y de las variables relacionadas a la calidad de la madera como densidad aparente básica, MOE, MOR y rendimiento en el debobinado

El trabajo de campo se dividió en dos etapas, la primera realizada en el INIA y la segunda en el LATU. Las variables evaluadas en el INIA fueron el densidad aparente básica (en rodajas), volumen / ha, DAP, altura, factor de forma, cantidad y calidad de chapas para confección de tableros contrachapados, mientras que las variables analizadas en el LATU fueron el MOE y el MOR de tablas con dimensiones comerciales y probetas libres de defectos y la densidad aparente corriente de tablas y probetas (mediciones realizadas en el Laboratorio de Productos Forestales del LATU).

2.1 VARIABLES EVALUADAS

- Dasométricas: DAP, altura y volumen (INIA)
- Factor de forma, conicidad y porcentaje de corteza (INIA)
- Densidad aparente básica de la madera, en rodajas (INIA)
- Volumen medio de madera, cantidad y calidad de chapas de los 10 árboles apeados por tratamiento (URUPANEL - INIA)
- Módulo de elasticidad y módulo de rotura en tablas o vigas de tamaño real y probetas libre de defectos (LATU)
- Densidad aparente corriente de tablas y en pequeñas probetas libres de defecto (LATU)

2.2 METODOLOGÍA

Con los datos de crecimiento de todos los individuos de las parcelas se procedió a seleccionar 10 árboles de cada tratamiento, 5 por parcela de aquellos individuos de la clase diamétrica promedio, rectos y sin daños en el fuste (cuadro 3).

Tratamiento	Parcela	Identificación de cada árbol	Altura (m)	DAP (cm)	DAP medio (cm)
Fuerte	1	C	39,5	46,2	43,9
Fuerte	1	D	36,8	44,4	
Fuerte	1	K	37,2	45,9	
Fuerte	1	G	37	41,3	
Fuerte	1	P	36,8	43,5	
Fuerte	4	79	37,9	46,6	
Fuerte	4	83	36,8	39,4	
Fuerte	4	110	43,5	45,6	
Fuerte	4	146	41,1	39	
Fuerte	4	151	41,9	47,2	
Medio	3	361	39,9	39,4	40,3
Medio	3	553	39	38,1	
Medio	3	575	38,5	37,2	
Medio	3	579	40,5	42,1	
Medio	3	623	40,2	42	
Medio	6	253	38,9	37,7	
Medio	6	289	38,9	43	
Medio	6	317	39,4	42,4	
Medio	6	319	37,4	39	
Medio	6	328	39,6	42,5	
Testigo	2	283	31,4	24,2	27,2
Testigo	2	329	37,9	29,6	
Testigo	2	330	36,5	28,4	
Testigo	2	350	36,7	29,5	
Testigo	2	387	35,2	27,4	
Testigo	5	701	29,7	24,5	
Testigo	5	719	33	27,4	
Testigo	5	725	36,3	28,7	
Testigo	5	734	35,6	26,9	
Testigo	5	832	37,4	25,5	

Cuadro 3. Árboles seleccionados de cada tratamiento.

Apeo y medición:

- Apeo, medición de altura total y comercial hasta 6 cm con corteza (largo de troza 3,2 m)
- Extracción de rodajas a los 0.4 m, 3 m y 6.2 m. para calcular DBA (densidad básica aparente).

Se apearon los árboles promedios y se midieron los diámetros con y sin corteza, midiéndose también la altura total real, para el cálculo del factor de forma.

Luego de apeados, de cada uno, de los árboles seleccionados, se extrajo una troza basal de 2.6 m a partir de 40 cm de la base del fuste (se eliminó la parte más cónica del árbol). En la figura 2 se esquematiza el procedimiento de apeo y medición.

Para la determinación de la DBA se utilizaron tres rodajas de cada árbol recién apeado y por el método del principio de Arquímedes (desplazamiento de agua) se calculó el volumen de cada rodaja saturada en agua. Luego las rodajas fueron secadas en estufa a 103 ± 2 hasta peso constante.



Figura 2. Selección de árboles, apeo, trozado y medición de diámetros con y sin corteza.

Factor de forma:

- Medición del diámetro de cada troza con y sin corteza
- Cálculo del factor de forma comercial hasta los 6 cm sin corteza

Para el cálculo del volumen real de todos los árboles apeados se utilizó la fórmula acumulada de Smalian. Se consideró un largo de troza igual a 3,2 metros, calculándose el volumen con y sin corteza, de cada una de las trozas, hasta alcanzar la altura comercial (6 cm con corteza).

El volumen aparente se calculó considerando un cilindro de base equivalente a la sección del árbol a la altura del pecho (1,30 m desde el suelo) y la altura considerada del cilindro fue la total del árbol.

Para los cálculos se emplearon las siguientes fórmulas:

Volumen real = fórmula acumulada de Smalian

Volumen aparente = $\pi / 4 \times \text{DAP}^2 \times H$

FF = $\frac{\text{Volumen real}}{\text{Volumen aparente}}$

Fórmula acumulada de Smalian

$$Vr = \pi / 8 \times L [Do^2 \times Dn^2 \times 2 \sum Di^2]$$

Vr = volumen real en m³

L = largo de la troza

Do = diámetro de la base del árbol a la altura del tocón

Dn = diámetro menor del árbol

Di = diámetros de la base de cada troza

Calculados los volúmenes real y aparente de cada árbol se buscó el cociente para la obtención del factor de forma. Para este cálculo se utilizó el volumen aparente con corteza en m³ (volumen de un cilindro) cuyo diámetro es igual al DAP con corteza y como altura del volumen real (comercial), la altura comercial hasta los 6 cm sin corteza.

Otro propósito del apeo de los árboles fue evaluar el porcentaje de corteza que posee en promedio la especie a esa edad, en ese lugar y por tratamiento.

Volumen de corteza en porcentaje

$$\text{Porcentaje de corteza} = ((Vrcc - Vrsc) / Vrsc) \times 100$$

Vrsc = volumen real sin corteza en m³

Vrcc = volumen real con corteza en m³

Fórmulas extraídas de Sorrentino (1996).

Para el cálculo de la conicidad de la primera troza se consideró el cociente entre el diámetro menor y el diámetro mayor.

Para el cálculo del volumen comercial, se realizó el cálculo volumen aparente con corteza en m^3 (volumen de un cilindro) cuyo diámetro es igual al DAP con corteza y luego se multiplicó por el factor de forma promedio calculado para cada tratamiento.

Con la sumatoria de los volúmenes individuales sin corteza, se obtuvo el volumen comercial de la parcela y luego se extrapoló, utilizando un factor de expansión de 16 para lograr el volumen por hectárea.

También se estimó el volumen extraído en el raleo a los 5 años, calculado como el volumen comercial de los árboles promedios extraídos por la cantidad de árboles raleados. Para el cálculo del volumen comercial se calculó el volumen del cilindro con diámetro igual al DAP promedio y altura media de los árboles raleados y luego se multiplicó por un factor de forma de 0,38.

Clasificación e identificación del material:

- Identificación de las 2 primeras trozas con sus números correspondientes
- Extracción de rodajas:
 - Base de troza basal (0,40 cm)
 - Punta de troza basal (3 m)
 - Punta de 2ª troza (6,2 m)
- Identificación y acondicionamiento de rodajas
- Medición de densidad aparente básica (INIA)

La primera troza fue destinada al ensayo en URUPANEL, mientras que de la segunda se extrajeron tablas para el ensayo en el LATU, como se aprecia en la figura 3.



Figura 3. Clasificación de trozas y confección de tablas.

2.2.1. Debobinado de las primeras trozas

- Cálculo de rendimiento
- Clasificación de láminas por calidad

Una vez dimensionadas y descortezadas las primeras trozas de los árboles seleccionados, fueron transportadas a la empresa URUPANEL para su procesamiento.

Macerado: al llegar a la fábrica, todas las trozas fueron acondicionadas y maceradas durante 10 horas a temperaturas de vapor de agua de 60 °. El propósito del macerado es ablandar la madera, saturarla de agua y homogeneizarla para lograr un corte suave en el proceso de laminado, para mejorar el rendimiento, el espesor y la calidad de chapa, Sadaaki *et al.* (2009).

Debobinado: esta operación se realizó utilizando un torno automático que posee 2 puntos motrices provistos de garras, lo que permite sujetar la troza y hacerla girar a alta velocidad durante el debobinado. De esta forma se obtuvo una lámina continua de 2.9 mm de espesor y de longitud variable, que luego fue cortada para la obtención de las chapas de 2.9 mm x 160 mm x 260 mm.

Una vez obtenidas las chapas fueron conducidas en forma automática por cintas transportadoras para formar fardos y luego dirigidas hacia el horno de secado.

Secado: el objetivo fue secar las chapas hasta un contenido de humedad dentro de los límites óptimos. El contenido de humedad de chapas previo al secado varía entre 30 y 110 % y al finalizar el mismo se llega entre el 6 y 8%.

El tiempo aproximado en el proceso de secado fue de 15 minutos.

Clasificación de chapas: luego del secado las chapas fueron clasificadas manualmente y en forma visual, según las especificaciones de la fábrica (ver figura 4).



Interior (I)



Trascara (C)



Cara (P)



Clear (B)

Figura 4. Esquema de clasificación de chapas.

I = Chapa entera con gran cantidad de nudos, utilizada para la parte interior de tablero contrachapado.

C = Chapa entera con nudos, en menor proporción que la calidad interior, utilizada para uso interior o para la cara no visible del tablero contrachapado.

P = Chapa entera, con pocos de nudos, utilizada para las caras del tablero contrachapado.

B = Chapa entera clear, libre de nudos y defectos, utilizada como cara de tablero contrachapado.

Aserrado:luego de apeados los 10 árboles de DAP promedio por tratamiento, se procedió a confeccionar de la segunda troza, con un aserradero portátil y dentro de las 24 horas, se obtuvieron tablas de dimensiones comerciales (50 mm de espesor, 150 mm ancho y 3200 mm de largo), para ser enviadas al LATU con el propósito de determinar la densidad, el MOE y el MOR.

Las tablas obtenidas de cada troza fueron clasificadas en tres categorías, según las diferentes ubicaciones en el radio A, B y C (figura 5)

- Tablas A Cercana a la médula, principalmente madera juvenil
- Tablas B Madera intermedia entre el duramen y la albura
- Tablas C Cercana a la corteza, albura, madera adulta



Figura 5. Ubicación de tablas de tamaño comercial.

2.2.2. Propiedades físico – mecánicas

Se cuantificó densidad, MOE y MOR por métodos destructivos en tablas de tamaño real y probetas libres de defectos. En aquellos tratamientos con trozas de mayor diámetro se analizaron 3 tablas y probetas por árbol, correspondientes a su posición en el radio. Para el caso del tratamiento testigo no fue posible la extracción de tablas C de todos los árboles.

En total se obtuvieron las 30 tablas de los tratamientos con raleo y 18 tablas del tratamiento testigo, para las cálculos de densidad, MOE y MOR.

Las tablas fueron acondicionadas y secadas a la intemperie hasta llegar a 14 % de humedad. Alcanzada esta humedad se llevaron a dimensiones finales de dos tipos: tablas medianas 35.5 mm x 84 mm x 1500 mm (16 tablas, todas testigo) y tablas grandes 45.5 mm x 154.7 mm x 2600 mm, para su posterior ensayo (62 tablas).

El módulo de elasticidad y el de rotura fueron medidos en la máquina universal marca Minebea, modelo AL – 250 kNB. Las piezas fueron sometidas a un esfuerzo de flexión de 4 puntos, como se muestra en la figura 6. La carga se realizó sobre el canto que presentaba menor cantidad de defectos.

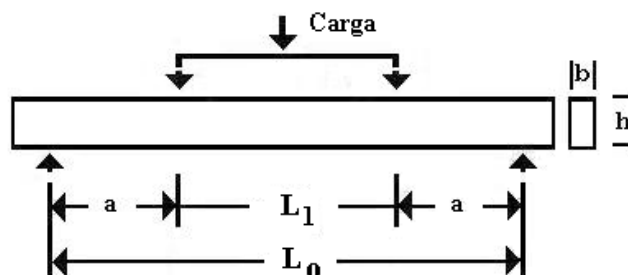


Figura 6. Esquema de ensayo de flexión estática 4 puntos en máquina universal.

El ensayo se realizó según la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) D 198. Las condiciones de ensayo para el cálculo del MOR fueron las siguientes.

- Dos puntos de aplicación de carga a 860 mm
- Aplicación de carga sobre el canto de la tabla
- Velocidad de ensayo constante de 20 mm / min
- Celda de carga de 250 kN
- Distancia entre apoyos de 2600 mm (span)

Para el cálculo de desplazamiento se utilizó un extensómetro.

El módulo de elasticidad y el módulo de rotura fueron determinados mediante el mismo ensayo de flexión estática. Los cálculos fueron obtenidos en forma automática por el software de la Máquina Universal. Una vez finalizado el ensayo los resultados fueron verificados utilizando las siguientes fórmulas:

$$MOE_{4p} = \frac{\Delta P \cdot (L_0 - L_1) \cdot (2 \cdot L_0^2 + 2 \cdot L_0 \cdot L_1 - L_1^2)}{48 \cdot I \cdot \Delta y}$$

ΔP : Diferencia entre las cargas en los extremos de la zona proporcional
 L_0 : Distancia entre apoyos inferiores
 L_1 : Distancia entre apoyos superiores de carga
 I : Momento de Inercia
 Δy : Diferencia entre las flechas de la probeta en extremos de zona proporcional

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

I : Momento de Inercia
 b : Ancho de la tabla
 h : Altura de la tabla

$$MOE_{4p} = \frac{3 \cdot P \cdot (l - a)}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

P : Carga máxima
 l : Distancia entre apoyos inferiores
 a : Distancia desde el apoyo inferior al punto de carga superior más próximo
 b : Ancho de la tabla
 h : Altura de la tabla

A partir de las tablas ensayadas en flexión estática, se confeccionaron pequeñas probetas libres de defectos, las que fueron acondicionadas en cámara climatizada en las condiciones de 20° C de temperatura y de 65 % de humedad relativa, para lograr una humedad de equilibrio en las mismas del orden del 12 %.

El ensayo de flexión estática se realizó sobre probetas de 25 x 25 x 400 mm, en la Máquina Universal de Ensayos, marca Minebea, utilizando una celda de carga de 50 kN de capacidad, ejerciendo la carga en la cara radial y en el centro de la probeta (figura 7).

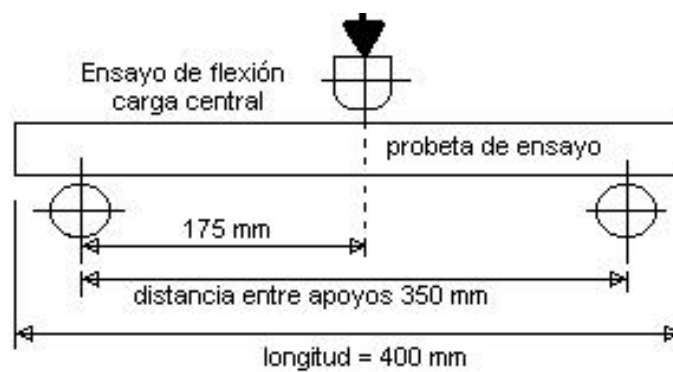


Figura 7. Esquema del ensayo de flexión estática en 3 puntos en máquina universal.

Para el ensayo se utilizó la norma JIS (Japan Industrial Standard) Z 2101–1994 (JIS Z 2113-63) “Method of Bending Test for Wood”.

Las condiciones del ensayo fueron:

- Un punto central de aplicación de carga
- Aplicación de carga en dirección tangencial (cara radial)
- Velocidad constante de 3 mm/min
- Celda de carga 50 kN
- Distancia entre apoyos de 350 mm (span)

Se utilizó un extensómetro en la línea neutra (medida de desplazamiento) para cálculo del MOE.

Las fórmulas utilizadas para el cálculo del MOE y el MOR en pequeñas probetas fueron las siguientes:

$$MOE_{3p} = \frac{\Delta P \cdot l^3}{4 \cdot \Delta y \cdot b \cdot h^3}$$

ΔP : Diferencia entre las cargas en los extremos de la zona proporcional
 l : Distancia entre apoyos inferiores (span)
 b : Ancho de la probeta
 h : Altura de la probeta
 Δy : Diferencia entre las flechas de la probeta en extremos de zona proporcional.

$$MOE_{3p} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

P : Carga máxima
 l : Span
 b : Ancho de la probeta
 h : Altura de la probeta

De las partes no utilizadas en el ensayo mecánico de flexión estática de tablas comerciales se confeccionaron probetas escuadradas de 40 mm x 50 mm x 150 mm de longitud, orientadas perpendicularmente a la longitud de la tabla, cubriendo de esta forma el rango de variación de contenido de humedad y de la densidad en el ancho de la tabla.

Las probetas fueron pesadas (peso corriente), medidas en sus tres dimensiones para obtener el volumen y posteriormente secadas en estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ hasta peso constante para obtener el peso anhidro.

Para la determinación de la densidad aparente corriente se utilizó la norma ASTM, Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials D 2395, Method A.

Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes:

$$D_{\text{corriente}} = \frac{P_{\text{Anh}}}{V_{\text{corriente}}}$$

$$CH = \frac{P_{\text{corriente}} - P_{\text{Anh}}}{P_{\text{Anh}}} \times 100$$

$D_{\text{corriente}}$: Densidad aparente corriente
$V_{\text{corriente}}$: Volumen corriente
P_{Anh}	: Peso anhidro
$P_{\text{corriente}}$: Peso corriente
CH	: Contenido de Humedad (%)

Nota: La densidad aparente corriente se define como el cociente entre el peso anhidro y el volumen a 12% CH. En este trabajo se estimó la densidad aparente corriente a partir del volumen a 14 % CH promedio para las tablas y a 11,8% CH promedio para las pequeñas probetas libres de defectos.

2.2.3. Análisis estadísticos

El diseño del experimento fue un diseño completo al azar (DCA), con tres tratamientos y dos repeticiones.

Se analizaron 17 variables en total con diferentes números de muestras, 15 de ellas fueron analizadas estadísticamente. En el cuadro 4 se muestran las variables estudiadas y los modelos empleados en cada caso.

Para analizar diferencias entre tratamientos se realizaron los análisis de varianza (ANOVA) correspondientes ($p = 0,05$) y en caso de encontrarse una diferencia estadística entre medias, se realizó un test de Tukey.

En los cuadros se muestran con un asterisco en la parte superior, todas las variables en las que se realizó un ANOVA. En caso de encontrarse diferencias se procedió a colocar las letras correspondientes.

Se utilizó el software SAS/STAT para el análisis estadístico y la confección de gráficos.

Variables	Número de muestras			Modelo estadístico
	Fuerte	Medio	Testigo	
DAP	31	36	96	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$
Altura	31	36	96	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$
Volumen / árbol	31	36	96	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$
Factor de forma	10	10	10	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$
Conicidad 1era troza	10	10	10	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$
Porcentaje de corteza	10	10	10	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$
Sobrevivencia	2	2	2	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$
Volumen medio / ha	2	2	2	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$
Rendimiento en fábrica	1	1	1	No se realizó análisis estadístico
Número de chapas	1	1	1	No se realizó análisis estadístico
DBA de rodajas	30	30	30	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk} + \gamma_{ijkl}$
Densidad de tablas	30	30	18	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk} + \gamma_{ijkl}$
Densidad de probetas	30	30	18	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk} + \gamma_{ijkl}$
MOE de tablas	30	30	18	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk} + \gamma_{ijkl}$
MOE de probetas	29	30	17	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk} + \gamma_{ijkl}$
MOR de tablas	30	30	18	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk} + \gamma_{ijkl}$
MOR de probetas	29	30	17	$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk} + \gamma_{ijkl}$

Cuadro 4. Variables analizadas y modelos utilizados

$i=1, 2, 3$ (tratamientos)

$j=1, 2$ (repeticiones)

Y_{ij} : variable de respuesta evaluada en el i esimo tratamiento y la j esima repetición

μ : media general

α_i : efecto del i esimo tratamiento

ϵ_{ij} : error asociado al i esimo tratamiento y j esima repetición

δ_{ijk} : error de submuestreo

γ_{ijkl} : error de la probeta/tabla dentro de la troza

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentarán los resultados de acuerdo al siguiente esquema:

- Variables dasométricas
- Rendimiento en el debobinado
- Propiedades de la madera
 - Densidades
 - MOE tablas de tamaño comercial y MOE de probetas libres de defecto
 - MOR tablas de tamaño comercial y MOR de probetas libres de defecto

3.1 VARIABLES DASOMÉTRICAS

A partir de las mediciones realizadas en 2008 y con los antecedentes de mediciones anteriores (realizadas por el INIA), se realizaron los cálculos de caracterización poblacional e individual que se presentan en el cuadro 5 y figuras 8 a 11.

En la figura 8 se muestra la evaluación del diámetro a la altura del pecho durante el ciclo del cultivo.

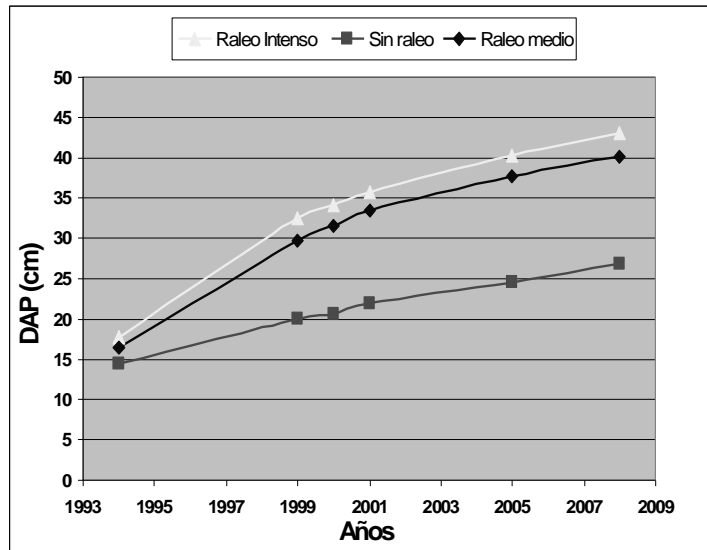


Figura 8. Evolución del DAP para las tres intensidades del raleo.

Como era de esperar, el mayor número de árboles del tratamiento sin raleo presentó un DAP promedio estadísticamente menor en relación a los tratamientos raleados.

Resultados similares fueron encontrados por Dickinson *et al.* (2000) para la especie *Eucalyptus cloeziana* con cuatro intensidades de raleo, tal como se detalla en la figura 9. A pesar de ser una especie diferente con mayor DBA (0,75), el comportamiento del DAP en relación al raleo es similar.

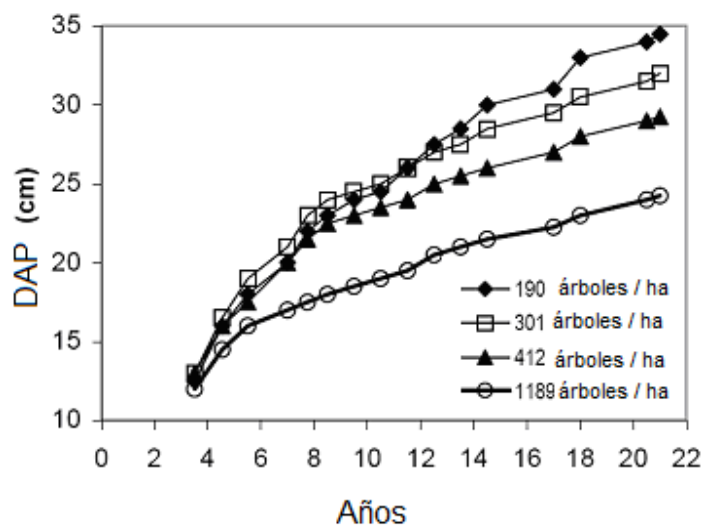


Figura 9. Respuesta en crecimiento del DAP en *E. cloeziana* para cuatro intensidades del raleo, realizadas al tercer año (Dickinson *et al.* 2000).

Crechi *et al.* (1992), trabajando con *Eucalyptus grandis*, también determinaron que la densidad de plantación influyó de manera altamente significativa sobre el diámetro medio.

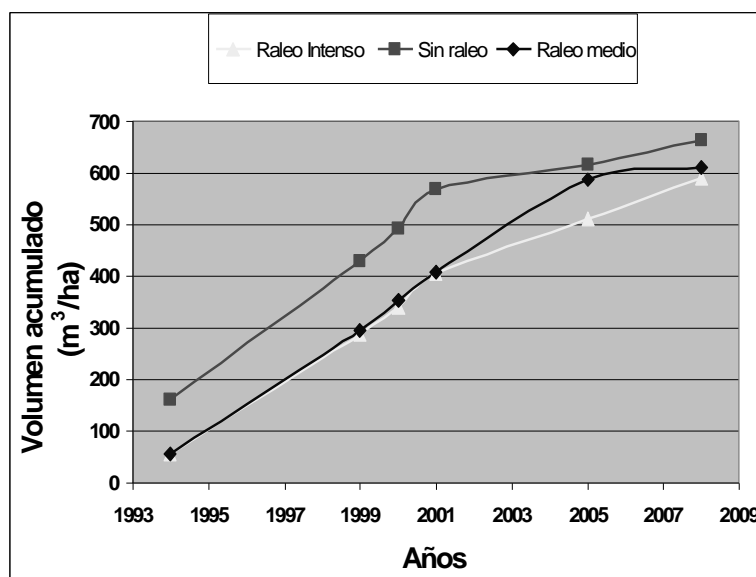


Figura 10. Evolución del volumen acumulado (expresado en m³ con corteza), para los tres tratamientos.

En el cuadro 5 se muestran los valores de las variables dasométricas y productividades de los tratamientos, con los resultados de la prueba de Tukey para las variables que mostraron diferencias significativas en el Análisis de Varianza.

Tratamiento	Densidad (arb/ha)	Sobrevivencia post raleo *	Altura (m)	DAP (cm)	Vol / arb (m3)	Vol / ha (m3/ha)*	IMA (m3/ha)	Vol total / ha (m3/ha)*
Raleo fuerte	248	91%	41,4 a	43,0 a	2,35 a	584	31	659
Raleo medio	288	86%	42,9 a	40,2 a	2,18 a	627	33	706
Testigo	784	62%	32,0 b	26,8 b	0,85 b	664	35	664

Cuadro 5. Variables dasométricas por tratamiento al año 19.

Se encontraron diferencias significativas en DAP, altura y volumen promedio por árbol entre el tratamiento testigo y los tratamientos con raleo. Esto muestra que el raleo realizado al quinto año incrementó el diámetro promedio de los árboles así como también el crecimiento promedio en altura de los árboles.

También se observa que el volumen promedio por árbol en los tratamientos con raleo es más del doble que el testigo. En el raleo medio el volumen por árbol es 2,56 veces superior que el testigo y en el caso del fuerte 2,75, siendo explicadas estas diferencias por el raleo realizado.

En el tratamiento testigo la variación de altura entre árboles estimada a través del coeficiente de variación fue de 25 %, mientras que el tratamiento fuerte de 10 % y el medio de 6 %. Se pueden observar a campo en el testigo muchos árboles co dominantes y suprimidos, situación menos común en los tratamientos raleados.

Los resultados presentados concuerdan con lo observado por Muñoz *et al.* (2008). Este autor encontró que el volumen por árbol presenta diferencias significativas entre tratamientos. A la edad de 14 años, los mayores volúmenes individuales fueron alcanzados por el tratamiento intensamente raleado (400 árboles), independientemente de la severidad de la poda.

No fue posible observar diferencias estadísticas entre el volumen por hectárea y la sobrevivencia entre tratamientos, considerando un nivel de significancia del 5%. Debe considerarse que con dos repeticiones los promedios deberían diferir considerablemente entre sí para que se detecten diferencias significativas

Si se considera el volumen total por hectárea (volumen actual más volumen del raleo precomercial) como un indicador de la productividad del sitio, se puede apreciar que no existen diferencias entre los tratamientos. Esto estaría indicando que es posible obtener individuos de mayor diámetro sin reducir la productividad por hectárea en esas condiciones.

En la figura 11 se muestra el histograma de frecuencia por clase diamétrica de los tres tratamientos agrupados en un solo gráfico.

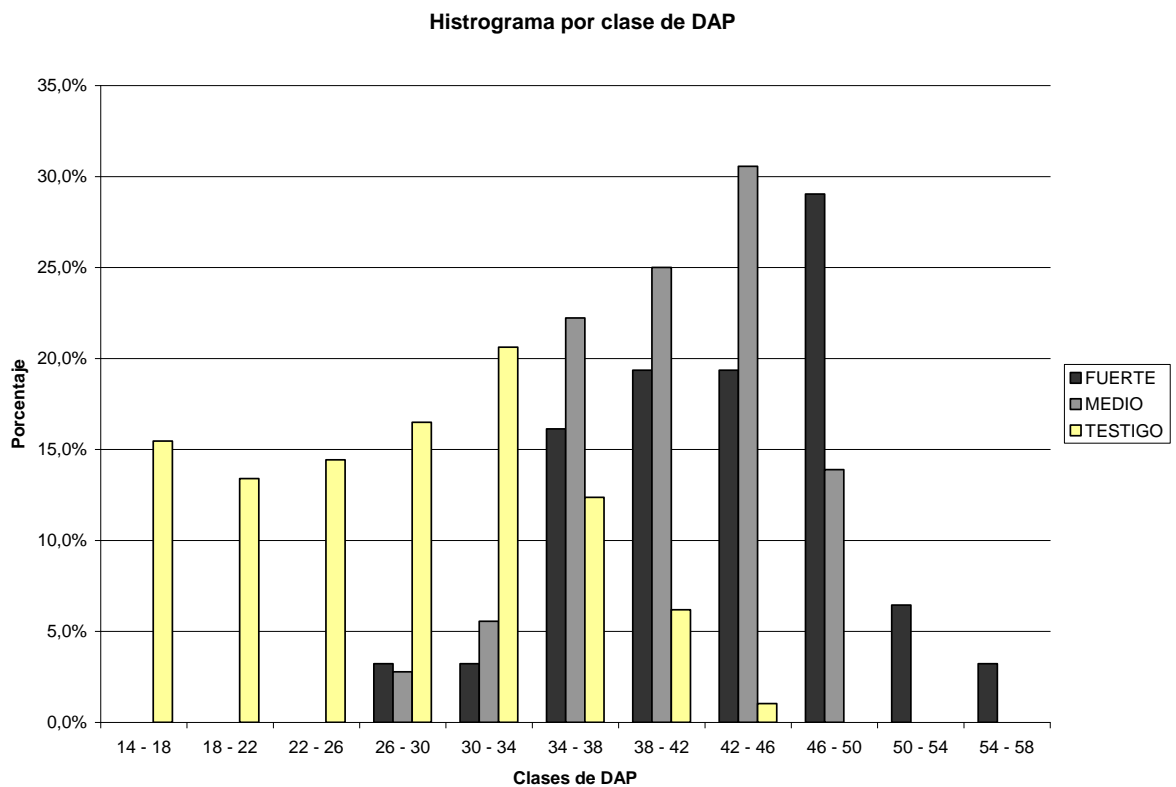


Figura 14. Histograma de frecuencia por clase de DAP.

El rango de diámetros a la altura del pecho, fue de 14 cm el mínimo en el tratamiento sin raleo y un máximo de 55 cm en el raleo fuerte a los 19 años de edad.

Según lo esperado, los tratamientos raleados presentaron mayores frecuencias de diámetros altos; el 94% de los fustes del tratamiento con raleo fuerte y medio presentan DAP mayores a 32cm, mientras que el testigo tiene sólo un 30%.

Se debe tener en cuenta, que entre el tratamiento de raleo fuerte y medio, la diferencia en densidad de árboles remanentes es muy baja ya que existen actualmente solo 50 árboles de diferencia, lo que hace que los tratamientos no sean contrastantes entre sí.

Tratamiento	Todo el fuste		Trozos debobinados
	Factor de forma*	Corteza (%) *	Conicidad**
Raleo fuerte	0,376a	7,3a	0,915 ^a
Raleo medio	0,390a	7,7a	0,907 ^a
Testigo	0,393a	9,6a	0,938 ^a

* Factor de forma y porcentaje de corteza del árbol completo

** Diámetro basal sin corteza/diámetro en punta fina sin corteza

Cuadro 6. Valores de factor de forma, proporción de corteza y conicidad para cada tratamiento.

Si comparamos los valores de porcentaje de corteza encontrados en este trabajo con los determinados por Gonçalves *et al.* (2010), quien obtuvo un valor de 9,37 % para árboles de 14 años, con una densidad de 325 árboles/ha en la misma especie, podemos apreciar una pequeña diferencia con los tratamientos con raleo. Esto se puede deber a que siendo un

porcentaje sobre el total, a medida que aumenta el volumen del árbol el porcentaje de corteza decrece.

No se encontraron diferencias en conicidad de la primera troza de los árboles, ni en el factor de forma y porcentaje de corteza de todo el árbol. Sin embargo para el caso de la conicidad de la troza basal, existe una tendencia hacia trozas más cilíndricas en el testigo.

3.2 RENDIMIENTO DE LÁMINAS EN FÁBRICA

En la figura 12 se presenta a modo ilustrativo, la cantidad de láminas obtenidas por tratamiento de los 10 árboles promedio.



Figura 12. Chapas dimensionadas, por tratamiento.

TRATAMIENTO	Espesor	Nº Trozas	m3	D Prom (cm)	Láminas	m3 FS	m3 Mesa	Total	%FS	%RW	Rendimiento
RALEO FUERTE	2,9	10	3,11	35	188	1,90	0,44	2,3	81,1%	16,2%	75,3%
RALEO MEDIO	2,9	10	2,83	33	148	1,49	0,59	2,1	71,7%	25,1%	73,5%
TESTIGO	2,9	10	1,29	22	34	0,34	0,19	0,5	64,4%	31,9%	41,2%

Cuadro 7. Rendimiento de láminas previo al secado por tratamiento.

* FS: láminas enteras

**RW: tiras de láminas

En el cuadro 7 se aprecia que los tratamientos con raleo generan 5,5 y 4,4 (fuerte y medio) más chapas que el testigo, cuando comparamos los 10 árboles promedio por tratamiento.

En a figura 13 se presentan los valores de las láminas clasificadas para cada tratamiento (incluye sólo láminas enteras y secas). Cabe aclarar que las láminas pertenecientes a las categorías B y P se destinan a las caras visibles de los paneles, I compone láminas internas y C se utiliza como cara oculta (comúnmente llamada *trascara*).

Los resultados obtenidos muestran que las trozas del tratamiento testigo no proporcionaron láminas clear y en total, la producción de láminas secas por troza de los tratamientos raleo fuerte y medio con respecto al testigo son 87 y 84% superior, respectivamente. Esto muestra que el DAP es una de las variables que tiene mayor incidencia en el rendimiento de láminas. Por otro lado, la cantidad de láminas partidas (random) aumenta conforme disminuye el volumen debobinable por troza.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Fassola *et al.* (1996), luego de un análisis de correlación de las variables que caracterizan el tamaño del rollizo con las vinculadas a su rendimiento, tales como el número de láminas completas, la superficie total de láminas y el valor total de

producción, se determinó que el DAP y el volumen del mismo, presentan un grado de asociación altamente significativo con aquéllas.

Según Bianchet (1983) si el objetivo es la obtención de madera de gran diámetro, el raleo es una práctica recomendable en *E. grandis*, ya que sin comprometer el volumen total, aumenta la producción de madera de grandes diámetros. Otra ventaja del raleo es la producción de un mayor número de rollizos de grandes diámetros y la mejora de la uniformidad diamétrica. Esto redunda en un mayor rendimiento industrial.

Los rendimientos a la salida del secado (línea seca), con respecto al volumen de láminas ingresadas a secadora (línea verde), fueron de 83, 96 y 92 para los tratamientos de raleo fuerte, raleo medio y testigo respectivamente. El rendimiento calculado como metros cúbicos de madera total debobinada en láminas enteras y secas (sin tomar en cuenta *random*) en relación a metros cúbicos de madera ingresada al torno, es de 45, 41 y 14%, respectivamente

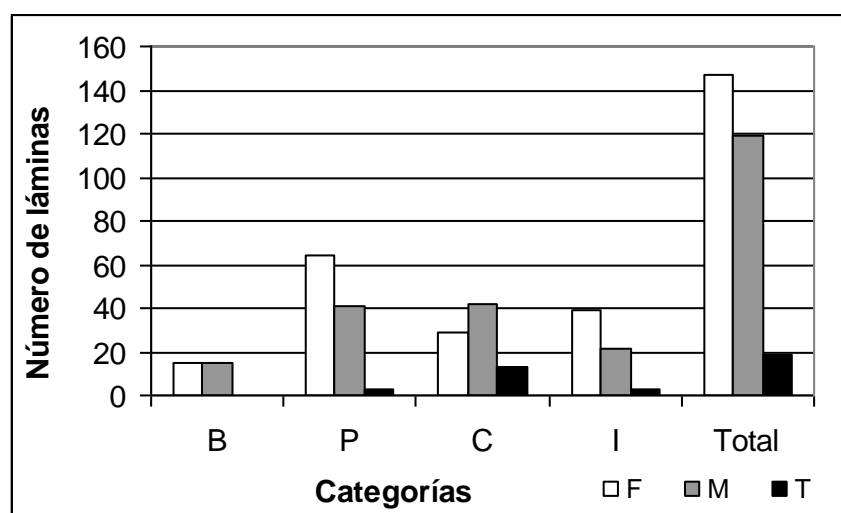


Figura 13. Rendimiento de láminas de los diferentes tratamientos según categorías de clasificación.

	Primeras trozas	Metros cúbicos promedio de láminas procesadas de primer troza por ha*				
Tratamiento	(m ³ /ha)	B	P	C	I	Total
Fuerte	87,7	4,45	18,97	8,57	11,52	43,51
Medio	87,5	4,70	9,21	13,22	6,59	33,72
Testigo	116,6	0,00	2,09	9,00	2,09	13,18

* No incluye random

Cuadro 8. Volumen de madera debobinada por calidad de chapa.

En el cuadro 8 se presenta el rendimiento estimado en láminas por hectárea (sólo de primeras trozas), en base al rendimiento en planta para cada tratamiento.

Se observa que el tratamiento sin raleo, no proporciona láminas *clear* y además muestra muy baja cantidad de láminas cara, pero sí presentó una mayor proporción de láminas trascara (C e I). Esto demuestra que este tratamiento además de proporcionar un menor volumen de láminas en sus trozas basales, el material extraído de esa trozas es de inferior calidad que el de los demás tratamientos.

El tratamiento fuerte posee un 54% del total de las láminas dentro de la clasificación de *clear* y cara (chapas de calidad), mientras que el tratamiento medio tiene el 47% del total de láminas dentro de esa clasificación, lo que contrasta con el 16% del tratamiento sin raleo.

Estos resultados son de relevancia ya que, en el caso puntual de URUPANEL, existe mejoría en el precio ofrecido por la madera de buena calidad (comunicación personal Carlos Zendroni , 2008).

3.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre tratamientos en: la densidad básica medida en las rodajas, la densidad corriente de probetas clear con un 12% de humedad y la densidad corriente de tablas de tamaño comercial con un 14 % de humedad. Esto indica que el raleo no influyó en esa propiedad, cuando la misma fue medida al año 19 (cuadro 9).

Esto concuerda con los resultados encontrados por DeBell *et al.* (2001). Muchos estudios en *E. grandis* y *E. saligna*, indican que la densidad de la madera generalmente se incrementa o no es afectada por las prácticas silviculturales que favorezcan el crecimiento del árbol.

Otros estudios de los mismos autores registraron para *E. saligna* en Hawaiian – Brown un incremento en el crecimiento del diámetro podría mejorar el valor la densidad a determinada altura del árbol.

Tratamiento	Densidad aparente básica (g/cm ³) *	Densidad corriente tablas 14% (g/cm ³) *	Densidad corriente probetas 12 % (g/cm ³) *
Fuerte	0,425	0,537	0,469
Medio	0,378	0,518	0,475
Testigo	0,395	0,490	0,458

Cuadro 9. Densidades promedio por tratamiento.

De las tres densidades analizadas, la densidad aparente básica considera toda la variación radial y además la variación a tres alturas; por esa razón debería ser el mejor indicador para esta variable. La diferencia entre la densidad corriente de tablas y la de probetas libres de defectos, está influenciada por los defectos que se encuentran en las tablas como nudos, bolsas de quino, madera de reacción, variación del contenido de humedad en la tabla, etc.

Con relación a la densidad aparente básica los resultados observados, están por debajo a los encontrados por Böthig (2001), para la misma especie y mismo origen de semilla de la zona de Rivera. Esta autora determinó un valor promedio de la densidad aparente básica de 0.463 g/cm^3 para árboles de 13,5 años de edad con un raleo a los 8 años y una densidad de 500 árboles por hectárea.

Doldán (2003), en un estudio con *E. grandis* origen Bañado de Medina de 18 años, en Río Negro, obtuvo un valor promedio de $0,432 \text{ g/cm}^3$ en promedio, con una variación de $0,412 \text{ g/cm}^3$ para madera juvenil y $0,453 \text{ g/cm}^3$ para madera adulta. Estos resultados son algo superiores a los valores medios encontrados en este trabajo ($0,399 \text{ g/cm}^3$ en la segunda troza). Es importante resaltar que en el estudio mencionado se consideró solamente la densidad de la primera troza.

Los valores encontrados en este trabajo son similares a los determinados por O'Neill *et al.* (2004) para la misma especie y origen para varias localidades de Uruguay para la misma especie y origen con un valor promedio de $0,45 \text{ g/cm}^3$ en densidad aparente corriente considerando el promedio de la segunda troza. De acuerdo con estos autores, la densidad promedio para árboles de *E. grandis* con 13 años de edad, con un raleo al año 7, hasta los 400 árboles / ha, fue $0,43 \text{ g/cm}^3$.

En Brasil Belini *et al.* (2008), obtuvieron una densidad aparente básica para *E. grandis* a los 6,9 años de $0,43 \text{ g/cm}^3$, analizando los chips en una planta de tableros de fibra y López (2005) en Concordia, Argentina, encontró densidades básicas aparentes de $0,416 \text{ g/cm}^3$ en promedio con un rango de variación entre $0,332$ a $0,506 \text{ g/cm}^3$, en *E. grandis* de 9 años destinado a obtener madera de calidad para usos sólidos.

Los valores de MOE y MOR encontrados en este estudio se presentan a continuación en los cuadros 10 y 11 y figura 14., Los mismos son cercanos a los determinados por Berger (2000) y por Gonçalves *et al.* (2009).

Tratamiento	MOE tablas (MPa) *	MOE probetas (MPa) *
F	11059	11283
M	10882	11339
T	10964	11221

Cuadro 10. Media de MOE de tablas de tamaño comercial y probetas libres de defecto por tratamiento.

Tratamiento	MOR tablas (MPa) *	MOR probetas (MPa) *
F	45,9	71,8
M	44,6	71,3
T	45,3	72,6

Cuadro 11. Media de MOR de tablas de tamaño comercial y probetas libres de defecto por tratamiento.

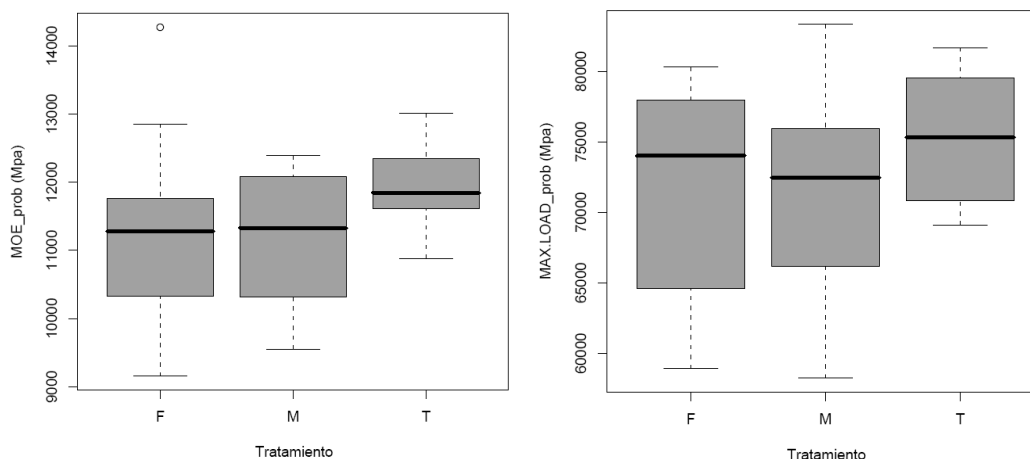


Figura 14. Diagrama de cajas del MOE y MOR de probetas libres de defecto por tratamiento.

Se puede apreciar que el MOR de probetas es casi el doble que el MOR de tablas. Esta diferencia se debe a que el MOR de probetas fue calculado en madera libre de defectos.

Pérez del Castillo y Venturino, 2003, obtuvieron valores de 52 MPa para *E. grandis* en la zona de Río Negro (18 años) y 53 MPa para el MOR árboles analizados de la zona de Rivera (16 años), origen Bañado de Medina. O'Neill *et al.* (2004), determinaron un valores promedio de 49 MPa, para tablas, y 81,4 MPa, para probetas, considerando el promedio de la segunda troza. En el mismo trabajo para el MOE en tablas y probetas de la misma especie y origen llegaron a valores medios de 11609 MPa para tablas de tamaño comercial y de 11584 MPa para pequeñas probetas, considerando el promedio de la segunda troza.

En un estudio similar realizado por O'Neill y Tarigo, (2006) para *E. grandis* de la zona centro del Uruguay, encontraron un valor promedio del MOE de 11588 MPa para tablas de tamaño comercial y de 13266 MPa para pequeñas probetas, considerando el promedio de la segunda troza. En el mismo trabajo para MOR en tablas y probetas en la misma especie y origen obtuvieron un valor promedio de 42,7 MPa, para tablas, y 84 MPa, para probetas, considerando el promedio de la segunda troza.

Luego de realizar un análisis de varianza se puede confirmar que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, en el MOE y el MOR, considerando el promedio de las tablas y probetas por tratamiento y la ubicación de las tablas y probetas. Esto indica que el raleo no tuvo un efecto significativo en el promedio de las tablas y probetas, para las propiedades mecánicas ensayadas

Tomando en cuenta la caracterización de madera realizada por el LATU en base al JAS (Japan Agricultural Standard), un 97,5% las tablas ensayadas superaría el límite de 7850 MPa de MOE ubicándolas dentro de una categoría por lo menos E90. Esto significa que este alto porcentaje de tablas es apto para su uso como madera estructural.

4. CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados y en las condiciones en que fueron realizados estos ensayos, se presentan las siguientes conclusiones:

1. Con un único raleo a los 5 años se logra uniformizar los diámetros concentrándolos en clases mayores.
2. Los tratamientos raleados presentaron mayores frecuencias de diámetros altos; el 94% de los fustes del tratamiento con raleo fuerte y medio presentan DAP mayores a 32cm, mientras que el testigo tiene solo un 30%.
3. Los tratamientos raleados presentaron mayores valores de DAP, altura y volumen individual promedio que el testigo.
4. No se encontraron diferencias entre conicidad de la primera troza, porcentaje de corteza y factor de forma total.
5. Si consideramos el volumen de madera producido en el sitio hasta los 19 años, sumándole el raleo a pérdida, no se observaron diferencias entre los tratamientos. Esto indicaría que es posible obtener árboles de mayor diámetro sin pérdidas significativas de productividad en el sitio analizado.
6. El tratamiento fuerte presentó el 54% del total de las láminas de la troza basal dentro de la clasificación clear y cara (chapas de calidad), mientras que el tratamiento medio tuvo un 47% del total de láminas dentro de esa clasificación, lo que contrasta con el 16% del tratamiento sin raleo.

7. El raleo fuerte realizado al rodal no influyó en la densidad básica aparente medida en las rodajas, en la densidad corriente de probetas sin defectos con un 12% de humedad, ni en la densidad corriente de tablas de tamaño comercial con un 14 % de humedad.
8. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, en el MOE y el MOR, considerando el promedio de las tablas por tratamiento.
9. Las intervenciones (raleos) realizadas al rodal, no influyeron en el MOE y MOR medido en probetas libres de defectos. Esto indica que el raleo no tuvo un efecto significativo, en el promedio de las tablas y probetas para las propiedades mecánicas ensayadas.

Para futuros trabajos se recomienda trabajar con al menos tres repeticiones de cada tratamiento para mejorar la precisión de las variables analizadas y trabajar con clones para eliminar la varianza genética que está presente en el ensayo.

Este tipo de trabajo se puede complementar realizando mediciones de la proporción de madera juvenil y adulta marcando la zona de transición en el diámetro, para luego comparar solamente madera juvenil con madera adulta en cada tratamiento para las variables MOE, MOR y densidad.

Finalmente sería importante analizar tratamientos con poda y raleo que consideren los manejos empleados por las empresas forestales que plantan con el objetivo de obtener madera de calidad.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aicher S, Klöck W. 2000. Fracture modeling of wood fiber gypsum board. Proceed. Int. Conf. on Wood and Wood fiber Composites. Otto-Graf-Institut, Stuttgart. pp 469 – 480.
- Arango B, Tamayo L. 2008. Densidad de la madera en clones de *Eucalyptus* por densitometría de rayos X. Revista Facultad de Ingeniería. Universidad Antioquia. 45: 87 – 99.
- Belini U, Tomazello M, Perez M, Santos C. 2008. Caracterização da estrutura anatômica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis MDF. Revista Árvore. Viçosa. 32 (4): 707 – 713.
- Berger R. 2000. “Crecimiento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. sob o efeito do espaçamento e da fertilização”. Dissertação (Mestrado de Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 126 p.
- Bhat K. M, Bhat K.V, Dhamodaran T. 1990. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerealam Índia. Wood and Fiber Science. 22 (1): 54 – 61.
- Bianchet J. 1983. Rendimiento de aserrados para *E. grandis*, *E. saligna*, *P. ellioti* y *P. taeda* en la zona de Concordia. Información Forestal INTA Concordia. Jornada 1. 16 p.
- Böthig S. 2001. Densidad, Dureza y Color de *Eucalyptus grandis* de Uruguay. Montevideo, Uruguay. LATU/JICA. 23 p.
- Centurión C, Llano L. 1995. Determinación de peso específico aparente básico por los métodos Unit 237-70 y máximo tenor de humedad con

- probetas de incremento radial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 78 p.
- Chaves R. 2007. Dinámica de cobertura de dossel de povoamentos de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. Revista Árvore. 31(6): 989-998.
- Crechi E, Fernández R, Fassola H, Friedl R, Reboratti H, Kuzdra H. 1992. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento en *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden a la edad de 6 años. Décimas Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales. Montecarlo, INTA. 12 p.
- Cruz C, Lima J, Muniz G. 2003. Variações dentro das arvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. Ciencia Forestalis. Piracicaba. 64 (1): 34 – 47.
- DeBell D, Keyes R, Gartner B. 2001. Wood density of *Eucalyptus saligna* grown in Hawaiian plantation: effects of silvicultural practices and relation to growth rate. Australian Forestry. 64 (2): 106 – 110.
- Dickinson GR, Leggate W, Bristow M, Lewty MJ. 2000. Thinning and pruning to maximize yields of high value timber products from tropical and sub – tropical hardwood plantation. Australian Forest Growers Association. Cairns, Australia. pp 32- 42
- Doldán J. 2003. Indicadores de Calidad de madera *Eucalyptus grandis* de Río Negro, Uruguay. Montevideo, Uruguay. LATU/JICA. 40 p.
- Evans JL, Senft JF, Green DW. 2000. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. Forest Products Journal. 50 (8): 75 -87.
- Fassola HE, Henn L, Weber J, Allegranza D, Lupi A, Parh N. 1996. Análisis preliminar del rendimiento y el valor de la producción de rollizos podados de *Eucalyptus grandis* (HILL) maiden sometidos a debobinado. EEA INTA Montecarlo. Centro Regional Misiones. 17 p.

- Ferreira C, De Freitas M, Ferreira M. 1979 Densidade básica da madeira de plantações comerciais de *Eucalyptus*, na região do Mogiguacu. São Paulo. IPEF. 18: 106 – 117.
- Finochietti S. 2005. Estudio de la variación axial de la densidad de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) para la determinación del punto de muestreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 118 p.
- García H, Saravia G, Chagas J, Lopes A, Carvalho A. 2005. Avaliação de um modelo de distribuição diâtrica ajustado para povoamento de eucalyptus sp. submetidos a desbaste. Revista Árvore. Viçosa. 29 (2): 271 – 280.
- Gonçalves F, Silva Oliveira J, Fernandez da Silva G, Nappo E, Tomazello M. 2010. Parâmetros dentrométricos e correlações como propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore. Viçosa. 34 (5): 947 – 959.
- Gonçalves F, Silva Oliveira J, Della R, Cardoso R. 2009. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore. Viçosa. 33(5): 501 – 509.
- González A, Lago A. 2008. Estudio de la variación axial del peso específico aparente básico en *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) a los 10 y 12 años de edad. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 104 p.
- Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JR. 2003. Forest Products and Wood Science. An Introduction. Fourth edition. Blackwell Publishing Iowa State Press, USA. 554 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). Información agroclimática. 2012. [En línea] 28 de enero de 2012. http://www.inia.org.uy/gras/agroclima/cara_agro/index.html

- Latorraca J, Albuquerque C. 2000. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da Madeira. *Revista Floresta e Ambiente*. 7(1): 279-291.
- Lima I. 2010. Variação da densidade aparente e resistência a compressão paralela as fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden. *Revista Árvore*. Viçosa, 34 (3): 551 – 559.
- Lima I, García N. 2005. Influencia do desbaste em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden. *Revista Instituto Florestal*. São Paulo, 17 (2): 151 – 160.
- Littell RC, Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD, Schabenberger, O. 2006. SAS® for mixed models. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- López, JA. 2005. Un nuevo desafío en especies de rápido crecimiento en el NE de la Argentina: Madera de Calidad para Usos Sólidos. IDIA XXI. [En línea] 2 de enero de 2012. www.biblioteca.org.ar/libros/210583.pdf
- Macdonald E, Hubert J. 2002. A review of the effects of silviculture on timber quality Stika spruce. *Forestry*. 75: 107 – 138.
- Malan FS. 2005. The effect of planting density on the wood quality of South African-grown *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal*. 205: 31-37.
- Malan FS.1991. Variation association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. *South African Forestry Journal*. 157: 16-23.
- Malan FS.1988. Wood density variation in four trees of South African grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden). *South African Forestry Journal*. 144: 36-42.
- Muñoz F, Espinosa M, Herrera M, Cancino J. 2008. Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de

- Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. Revista Bosque. 26 (1): 93 – 99.
- O’Neill H, Tarigo F. 2006. Propiedades Mecánicas de *Eucalyptus grandis* H. del centro del Uruguay. Grupo Técnico de Madera Aserrada de Eucalipto GT2. MGAP/SPF/LATU. 55 p.
- O’Neill H, Tarigo F, Iraola P. 2004. Propiedades Mecánicas de *Eucalyptus grandis* H. del norte del Uruguay. Grupo Técnico de Madera Aserrada de Eucalipto GT2. MGAP/SPF/LATU. 44 p.
- Pérez del Castillo A, Venturino A. 2003. Resumen de propiedades Mecánicas de *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* de distintas zonas del Uruguay”. Montevideo, Uruguay. LATU/JICA. 31 p.
- Pérez del Castillo A. 2001. Propiedades mecánicas y calidad de madera de *Eucalyptus grandis* del Norte de Uruguay. Montevideo, Uruguay. LATU/JICA. 35 p.
- Pou R, Guida, G. 2011. Agenda Forestal. 2011. Montevideo, Uruguay. 147 p.
- Sadaaki O, Castro R, O’Neill H, Quagliotti S, Tarigo F. 2009. Alternativas para dar valor agregado a la madera nacional proveniente de árboles de raleos comerciales. Departamento de Proyectos Forestales. LATU. 84 p.
- Silva J. 2003. Influencia dos tratamentos silviculturais na qualidade da Madeira. Revista da Madeira. 75: 1 – 10.
- Smith D, Larson M, Kelty M, Ashton P. 1997. The practice of silviculture: applied forest ecology. John Wiley and Sons, New York. 537 p.
- Soria LA. 1979. Aptitud del *E. grandis* como materia prima para la obtención de pastas celulósicas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 69 p.

- Sorrentino A. 1996. Manual para diseño y ejecución de inventarios forestales. Montevideo, Uruguay. Hemisferio Sur. 350 p.
- Stoehr H.P, Mackay D. 1983. Wood characteristics of *E. grandis* grown Wilgeboom plantation, Eastern Transvaal. CSIR Special Report Hout 278. 28 p.
- Uruguay XXI. 2011. Sector Forestal. Oportunidades de inversión en Uruguay. Montevideo, Uruguay. 39 p. [En línea] 10 de enero del 2012. <http://www.uruguayxxi.gub.uy/wp-content/uploads/2012/07/Sector-Forestal-Uruguay-XXI-Dic-2011.pdf>
- Wilkins A. 1991. Wood-density variation of young plantation-grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatment. *Forest Ecology and Management*. Amsterdam.40: 39 – 50.
- Wilkins A. 1990. Influence of silvicultural treatment on growth and wood density of *Eucalyptus grandis* grown on a previous pasture site. *Australian Forestry*. 53 (3): 168 -172.
- Zobel B, Talbert J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. 2ª reimpression México, Limusa. 545 p.